

PRODUCCION PRIMARIA DEL FITOPLANCTON Y ATENUACION DE LA LUZ EN EL LAGO COCIBOLCA

Mejía -Téllez, Mario

RESUMEN

Este estudio da un estimado de la producción primaria del fitoplancton en el Lago Cocibolca, muestra la dinámica del lago e identifica algunos factores potenciales que afectan la zona eufótica. La producción primaria, valorada a través del método de la evolución del oxígeno disuelto en botellas claras y oscuras, es de origen autóctono y moderadamente alta ($8.4 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), similar a algunos grandes lagos africanos, pero es el 50% más baja que la del Lago Xolotlán. La biomasa del fitoplancton, valorada a través de la clorofila-a, fue estimada en 14 mg m^{-3} , lo cual sugiere que esta puede ejercer una influencia significativa en la extinción de la luz al igual que otros agentes también muy importantes como el material abiótico presente en la columna de agua. En el Lago Cocibolca, la profundidad de la zona eufótica es 3.0 m y la longitud de onda roja, cercana a los 700 nm, penetra a una mayor profundidad que las otras longitudes de onda más cortas, lo cual es típico en lagos con alta turbidez.

INTRODUCCION

Concentraciones altas de material abiótico en la columna de agua es comúnmente observado en muchos lagos nicaragüenses (Erikson et al. 1991b,c; Mejía y Chow 1992; Saavedra 1993). Esto es una consecuencia del factor antropogénico principalmente, el cual afecta las características físico-químicas del agua y a las comunidades bióticas que habitan en estos.

La estructura y función del Lago Cocibolca son pobremente entendidos. Este lago tropical es considerado una fuente importante de proteínas a través de los peces que habitan en sus aguas y la introducción de especies exóticas (por ejemplo, el género *Tilapia*) fue probada con la esperanza de mejorar la pesquería (McKaye et al. 1995). Sin embargo, para juzgar el éxito de técnicas como estas en los ecosistemas acuáticos, primero es necesario conocer la máxima producción sostenible de la especie introducida. Esto en cambio requiere de confiables estimados de la producción primaria (Dokulil et al. 1983).

La producción primaria del fitoplancton proporciona información acerca de la cantidad de energía proveniente del sol, que es fijada en el proceso de fotosíntesis y puesta a disposición de los organismos heterotróficos (Odum 1971; Likens 1972). Conocimientos considerables de tal productividad se han acumulado en los ecosistemas acuáticos nicaragüenses durante los últimos diez años (Erikson et al 1991 a,b,c; Mejía 1991; Mangas et al. 1992; Mejía y Chow 1992; Saavedra 1993), la cual es vital para el conocimiento del estado fisiológico de estos cuerpos de agua.

Este estudio tiene como propósitos: 1) estimar la producción primaria del fitoplancton en el Lago Cocibolca, 2) mostrar la dinámica del lago e identificar algunos factores potenciales que afectan la zona eufótica y 3) comparar algunas características fotosintéticas del Lago Cocibolca con las del Lago Xolotlán.

MATERIALES Y METODOS

Siete muestreos se efectuaron de 1989 a 1996 en el Lago Cocibolca con el propósito de hacer estimaciones de la producción primaria del fitoplancton y mediciones de la radiación fotosintéticamente activa -400 a 700 nm-. Estos muestreos se llevaron a cabo al final de la estación seca (Marzo-Abril) y al final de la estación lluviosa (Octubre-Noviembre). El sitio de muestreo se ubicó a 10 Km al este de la costa del lago frente a la ciudad de Granada.

La producción primaria del fitoplancton se estimó como evolución del oxígeno disuelto en botellas claras y oscuras (Gaardner & Gran 1927), utilizando en 5 muestreos un oxigenómetro modelo YSI 57 y en 2 muestreos se utilizó el método de Winkler. Cuando se utilizó el oxigenómetro, se tomó una muestra integral de la zona eufótica e inmediatamente se llenaron 11 parejas de botellas claras y luego se sumergieron a 11 distintos niveles (0.25 - 5.25 m). Tres botellas oscuras fueron tratadas de la misma manera y sumergidas por debajo de la zona eufótica. Cuando se utilizó el método de Winkler, se tomaron muestras de 6 profundidades (0.5 - 5.5 m) con un muestreador Van Dorn e inmediatamente se llenaron 6 parejas de botellas claras y oscuras y luego se sumergieron a las mismas profundidades de captación. La pareja de botellas iniciales fue fijada inmediatamente después de tomada la muestra.

Las incubaciones IN SITU de las botellas claras y oscuras duraron aproximadamente 1.5 horas durante el período comprendido de 9:30 a.m. - 1:30 p.m. Diferencias en el contenido de oxígeno de las botellas claras y oscuras fueron integradas planimétricamente sobre las distintas profundidades para obtener la producción primaria por metro cuadrado por hora. La producción primaria por hora fue multiplicada por el factor 9 para obtener la producción primaria por metro cuadrado por día. Talling (1965) dio este factor, asumiendo que en los trópicos la intensidad promedio durante las incubaciones es igual al promedio de la intensidad diaria.

Estimando un consumo de oxígeno de la biomasa de las algas en el Lago Cocibolca de $1 \text{ mg O}_2 \text{ mg chl-a}^{-1} \text{ h}^{-1}$, similar a la del Lago George (Uganda, Africa), la respiración en la columna de agua fue calculada al multiplicar este valor por la biomasa promedio de fitoplancton (14 mg m^{-3}) por la profundidad media del lago (12.5 m) y por 24 horas (Erikson et al. 1998).

Las mediciones de radiación fotosintéticamente activa (PAR) fueron realizadas con un cuantómetro LI COR 185 B provisto de un sensor subacuático. Para medir la penetración de las longitudes de onda del espectro de luz azul, verde y rojo, se utilizaron filtros schott BG 12, VG 9 y RG 2.

La concentración de clorofila-a a diferentes profundidades de la columna de agua fue estimada espectrofotométricamente después de concentrar las algas en filtros whatman GF/C y extraer los pigmentos en etanol, según el método de Nush y Palme (1975) y el incremento de la biomasa del fitoplancton se estimó según la fórmula dada por Reynolds (1984).

RESULTADOS Y DISCUSION

La variación en la profundidad de la zona eufótica (Zeu) fue relativamente baja, de 2.25 a 3.80 m, con un valor promedio de 3.0 m y la atenuación de la luz expresada a través del coeficiente de extinción de luz vertical mínimo (Kmin), varió entre 0.96 y 1.84 m⁻¹, con un valor promedio de 1.41 m⁻¹ (Tabla 1).

FECHAS	Zeu (m)	Kmin (m ⁻¹)	BZeu (mgCla.m ⁻³)	ΣBZeu (mgCla.m ⁻²)	ΣA (gO ₂ .m ⁻² .h ⁻¹)	ΣΣA (gO ₂ .m ⁻² .d ⁻¹)	ΣΣR (gO ₂ .m ⁻² .d ⁻¹)	ΣΣA/ΣΣR	Amax (mgO ₂ .m ⁻³ .h ⁻¹)	Amax/BZeu (mgO ₂ .mgCla ⁻¹ .h ⁻¹)
89-11-01	3.80	1.12	6.9	26.2	0.70	6.30	2.07	3.00	230.0	33.3
90-04-06	2.25	1.60	22.0	49.5	0.49	4.45	6.60	0.70	265.0	12.0
90-10-12	3.30	1.28	15.0	49.5	0.77	6.95	4.50	1.50	280.0	18.7
91-10-29	3.50	1.28	14.0	49.0	1.10	9.90	4.20	2.30	350.0	25.0
93-03-02	2.47	1.84	12.0	29.6	1.45	13.05	3.60	3.60	660.0	55.0
93-04-21	2.30	1.80	14.0	32.2	1.24	11.21	4.20	2.70	510.0	36.4
96-11-01	3.30	0.96	15.0	49.5	0.82	7.34	4.50	1.60	290.0	19.3

TABLA 1. Características fotosintéticas del Lago Cocibolca.

Estos resultados se relacionan a los obtenidos en este mismo lago por Cole (1976) y Rolf Erikson durante el período 1991-1998 (datos sin publicar).

La longitud de onda azul resultó ser la más atenuada, mientras que la onda de luz roja fue la que penetró más profundamente. En trabajos llevados a cabo en lagos africanos (Talling 1965; Talling et al. 1973; Ganf 1974) y nicaragüenses (Erikson et al 1991b,c; Mejía y Chow 1992) se concluyó que la longitud de onda roja, cercana a los 700 nm, penetra a una mayor profundidad que las otras longitudes más cortas en ecosistemas acuáticos con una alta turbidez. La transparencia del Lago Cocibolca (estimada a través de la Zeu) es más alta que la del Lago Xolotlán (Tabla 2), lo cual corrobora lo señalado por Swain (1966).

	ΣBZeu (mgCla.m ⁻²)	Zeu (m)	ΣΣA (gO ₂ .m ⁻² .d ⁻¹)
L. Xolotlán (1987-1993) (Erikson et al. 1998)	105.0	1.70	18.0
L. Cocibolca (1989-1996) (Este estudio)	41.0	3.00	8.40

TABLA 2. Comparación de algunas características fotosintéticas del Lago Cocibolca y el Lago Xolotlán.

Las algas forman parte de la materia suspendida que modifica la atenuación de la luz en los ecosistemas acuáticos. En los sistemas con baja o moderada productividad, estas contribuyen poco a la atenuación de la luz. Sin embargo, al incrementar su biomasa, las algas pueden interceptar una substancial proporción de la luz incidente (Dokulil et al 1983). En el Lago Cocibolca, los valores de la biomasa de las algas en la zona eufótica (BZeu), estimada como clorofila-a, oscilaron entre 6.9 y 22 mg m⁻³, con un valor promedio de aproximadamente 14 mg m⁻³ (Tabla 1). Talling (1960) y Kirk (1975) consideran que esta BZeu comienza a ejercer una influencia significativa en la atenuación de la luz, cuando la concentración de clorofila-a excede los 10 mgm⁻³. La tendencia en el Lago Cocibolca es a incrementar la Zeu cuando la Bzeu es baja, excepto en dos ocasiones (Fig. 1), lo cual pudo deberse a que las fuentes no

algales se hacen relativamente muy importantes atenuadores de la luz (Jewson 1976). Notablemente, el valor más bajo de la Zeu ocurrió en la misma fecha cuando la concentración de clorofila-a fue la más alta (fecha de la estación seca).

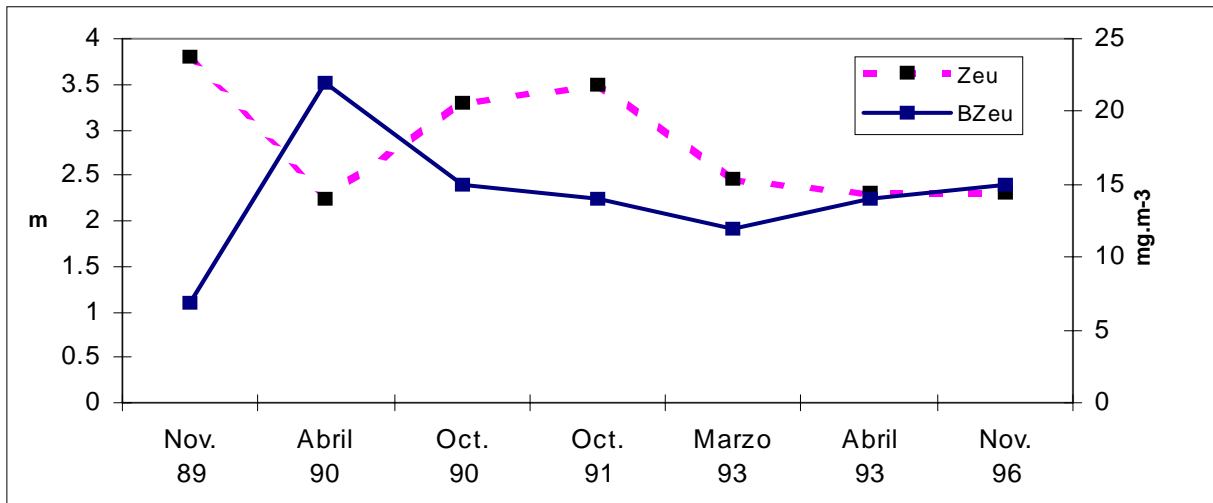


Fig. 1 Zona eufótica vs. biomasa de la zona eufótica en el Lago Cocibolca.

En condiciones tropicales como las del Lago Cocibolca, el suministro diario de energía radiante por unidad de área es alta y constante todo el año (Fuente 1986) y con frecuencia no hay variaciones importantes en la temperatura (Cole 1976). Debido a esto, la luz puede ser un factor limitante para el crecimiento del fitoplancton a través del proceso de fotoinhibición. Sin embargo, a causa del carácter poco profundo del Lago Cocibolca, los vientos ejercen una mezcla frecuente de la entera columna de agua (Riedel 1965), lo cual asegura que las algas estén expuestas a la luz y a la oscuridad por intervalos cortos de tiempo, reduciendo de este modo la fotoinhibición (Marra 1978). Por consiguiente, la fracción de tiempo, representado a través de la relación Zona de mezcla (Zm)/Zeu, debe ser de importancia para la producción primaria (Talling 1965).

La producción primaria bruta por metro cuadrado por día ($\Sigma\Sigma A$) durante el estudio osciló entre 4.45 y 13.05 g O₂ m⁻² d⁻¹ con un valor promedio de 8.4 g O₂ m⁻² d⁻¹ (Tabla 1), lo cual sugiere un alto nivel trófico (Talling 1965), similar a algunos grandes lagos africanos tales como el Lago Victoria, Lago Tanganyika y Lago Volta (Melack 1976). Sin embargo, la producción primaria del Lago Cocibolca es cerca del 50% más baja que la del Lago Xolotlán, siendo este uno de los lagos tropicales más productivos (Tabla 2).

Según Tundisi (1983), la luz, temperatura y suministro de nutrientes permanecen constantes en condiciones tropicales por lo que no son limitantes de la producción fotosintética. El considera que el factor regulador puede ser atribuido a los factores bióticos, los cuales pueden controlar el proceso fotosintético a través de las relaciones tróficas. Este factor biótico ha sido señalado por Ahlgren et al. (1998) como la causa más importante en las diferencias productivas observadas en los

lagos Cocibolca y Xolotlán.

La capacidad fotosintética promedio en la profundidad óptima de producción (A_{max}/B_{Zeu}) fue estimada en $28.5 \text{ mg O}_2 \text{ mg cl-a}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Tabla 1), la cual se compara a las registradas en el Lago Xolotlán (Erikson et al. 1991b,c); sin embargo, esta resulta más alta a las reportadas en otros lagos tropicales (Talling 1965; Robarts

1979; Ganf 1974). La biomasa del fitoplancton promedio en la zona eufótica (ΣB_{Zeu}) fue aproximadamente 41 mg m^{-2} , la cual es 61% más baja que la del Lago Xolotlán (Tabla 2). Los valores bajos de la capacidad fotosintética se relacionaron directamente a los efectos del incremento de la ΣB_{Zeu} (Fig. 2), lo cual se compara a los resultados obtenidos por Melack (1981) y Erikson et al. (1998).

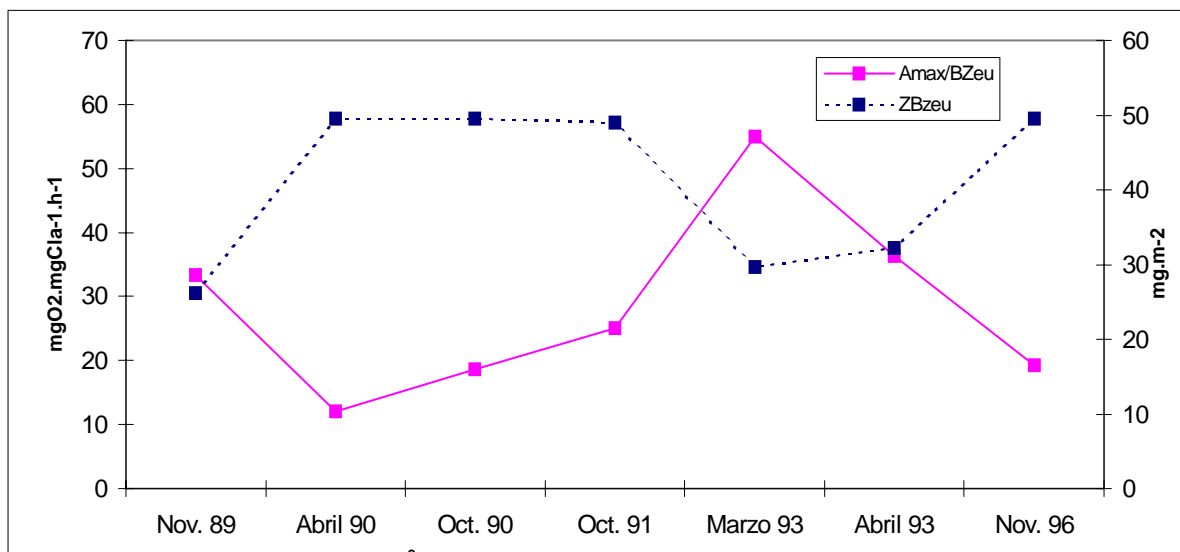


Fig. 2 Capacidad fotosintética vs. biomasa de la zona eufótica por unidad de área en el Lago Cocibolca.

No se han realizado experimentos específicos para estimar con exactitud la respiración de las algas en el Lago Cocibolca. A través del método utilizado en este estudio, se incluye el consumo de oxígeno por parte de las bacterias y del zooplancton, sobreestimando de esta manera la respiración de las algas. En trabajos llevados a cabo en el Lago Xolotlán y en el Lago George (Uganda, Africa), la respiración de la biomasa del fitoplancton fue estimada en 1.5 y $1.0 \text{ mg O}_2 \text{ mg cl-a}^{-1} \text{ h}^{-1}$ respectivamente (Erikson et al. 1998; Ganf 1974). Sin embargo, Erikson et al. (1998), sospechan que una proporción considerable de estos valores corresponden a la respiración por parte de las bacterias. Por este motivo, estos valores resultaron altos al compararlos con el valor ($0.66 \text{ mg O}_2 \text{ mg cl-a}^{-1} \text{ h}^{-1}$) registrado por 12 especies de algas cultivadas en laboratorio (Langdon 1988). Asumiendo que la respiración de las algas en el Lago Cocibolca es similar a la del Lago George, el consumo de oxígeno promedio en la columna de agua ($\Sigma \Sigma R$) es estimado en $4.2 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. De acuerdo a los resultados, el 50% de la producción primaria bruta representa el incremento neto de la biomasa de las algas al sistema, el cual es el

alimento explotado por los organismos consumidores tales como el zooplancton y peces herbívoros (Dokulil et al. 1983; Tundisi 1983).

Conociendo la relación entre producción primaria y respiración ($\Sigma\Sigma A/\Sigma\Sigma R$), podemos entender el funcionamiento del ecosistema y predecir, de esta manera, eventos futuros (Odum 1971). Esta relación debe ser igual o mayor que 1 para que la población de algas sobreviva (Dokulil et al. 1983). Examinando la Tabla 1, descubrimos que el balance entre fotosíntesis y respiración fue siempre mayor que 1, excepto en una ocasión, sugiriendo una capacidad de crecimiento de la población del fitoplancton.

Según la fórmula dada por Reynolds (1984), se estima que la población algal en el Lago Cocibolca incrementa 18% su biomasa cada día, el cual es más alto que el valor estimado en el Lago Xolotlán por Erikson et al. (1997). Esta capacidad de crecimiento puede llevar a incrementar la población hasta que el autosombreado se hace un mecanismo regulador si los nutrientes son suficientemente disponibles. Debido a que la biomasa del fitoplancton no alcanzó valores altos (por ejemplo, como los del Lago Xolotlán), este mecanismo no es considerado de mucha importancia actualmente, siempre y cuando no cambien las relaciones tróficas que según Ahlgren et al. (1998) es el mecanismo regulador más importante que mantiene los niveles bajos de biomasa del fitoplancton en el Lago Cocibolca.

CONCLUSIONES

La Producción Primaria Bruta estimada en el Lago Cocibolca ($8.4 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) sugiere un alto nivel trófico, similar a algunos grandes lagos africanos. Sin embargo, es más baja que la del Lago Xolotlán (~50%), considerado uno de los lagos tropicales más productivos.

La extinción de la luz en el Lago Cocibolca es bien alta, lo cual se evidencia por la reducida profundidad de la zona eufótica (3.0 m) y por ser la longitud de onda roja la menos atenuada, siendo esto típico en lagos con alta turbidez.

La biomasa del fitoplancton estimada en el Lago Cocibolca (14 mg m^{-3}) ejerce una influencia significativa en la extinción de la luz. Esto es atribuido al hecho de que los valores de biomasa del fitoplancton y profundidad de la zona eufótica siguieron tendencias opuestas.

REFERENCIAS

- Ahlgren, Y., R. Erikson, L. Moreno, L. Pacheco, S. Montenegro-Guillén and K. Vammen 1998. Pelagic food web interactions in Lake Cocibolca, Nicaragua. Manuscript submitted to Verh. Internat. Verein. Limnol.
- Cole, G. A. 1976. Limnology of the Great Lakes of Nicaragua. In: T. B. Thorson (de). Investigations of the Ichthyofauna of the Nicaraguan lakes. School of Life Sciences, Univ. Nebr.-Lincoln.
- Dokulil, M., K. Bauer, and I. Silva 1983. An assessment of the phytoplankton biomass and primary productivity of Parakrama Samudra, a shallow man-made lake in Sri Lanka. Schiemer, F. (de). Limnology of Parakrama Samudra, Sri Lanka. Dr. W. Junk Publishers.
- Erikson, R., E. Hooker y M. Mejía 1991a. Actividad fotosintética en el Lago Xolotán. Contribución al Taller Regional de Limnología Aplicada al Lago de Managua para su Recuperación y Aprovechamiento, Managua, Nicaragua 1991.
- Erikson, R., E. Hooker, and M. Mejía 1991b. The dynamics of photosynthetic activity in Lake Xolotlan (Nicaragua). Verh. Internat. Verein. Limnol. 24:1163-1166.
- Erikson, R., E. Hooker, and M. Mejía 1991c. Underwater light penetration, biomass and photosynthetic activity in Lake Xolotlan. Hydrobiol. Bull. 25:137-144.
- Erikson, R., M. Pum, K. Vammen, A. Cruz, M. Ruiz and H. Zamora 1997. Nutrient availability and the stability of phytoplankton biomass and production in Lake Xolotlán (Lake Managua, Nicaragua). Limnologica 27 (2) : 157-164.
- Erikson, R., E. Hooker, M. Mejía, A. Zelaya, and K. Vammen 1998. Factors controlling phytoplankton productivity in a polymictic tropical lake (Lake Xolotlán, Nicaragua). Manuscript to be submitted to Hydrobiologia.
- Fuente, J.L. 1986. Red solar y la estación Vadstena, Nicaragua. Reporte Técnico Investigativo No 04/86, UCA, Managua.
- Gaardner, T. and H.H. Gran 1927. Investigation on the production of plankton in the Oslo Fjord. Rapp cons. expl. mer. 42:3-48.
- Ganf, G. G., 1974. Incident solar irradiance and underwater light penetration as factors controlling the chlorophyll-a content of a shallow equatorial lake (Lake George, Uganda) J. Ecol. 62:593-610.
- Jewson, D.H. 1976. The interaction of components controlling net phytoplankton photosynthesis in a well-mixed lake (Lake Neagh, Northern Ireland). Freshwater Biology 6:551-576.
- Kirk, J. T. O. 1975. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters II. Spherical cells. New Phytology, 75:21-36.
- Langdon, C. 1988. On the causes of interspecific differences in growth-irradiance relationship for phytoplankton. 2. A general review. J. Plankton Res. 10:1291-1312.
- Likens, G. E. 1972. Eutrophication and aquatic Ecosystem. In Nutrient and Eutrophication (G. E. Likens ed) pp. 3-13. Am. Soc. Limnol. Oceanogr., Lawrence, Ks.
- Mangas, E., K. Rivas y M. Mejía 1992. La comunidad planctónica y la actividad fotosintética del lago cratérico Tiscapa. Contribución al 3rd Congreso Científico de la UNAN-Managua.
- Marra, J. 1978. Phytoplankton photosynthetic response to vertical movement on a

- mixed layer. *Mar. Biol.* 46:203-208.
- McKaye, K. R., J. D. Ryan, J. R. Stauffer Jr., L. J. Lopez, G. Vega, and E. P. van den Berge 1995. African tilapia in Lake Nicaragua: Ecosystem in transition. *Bioscience* vol. 45, No. 6.
- Mejía, M. y R. Erikson 1991. Penetración de luz en el Lago Xolotlán (Managua). Contribución al Taller Regional de Limnología Aplicada al Lago de Managua para su Recuperación y Aprovechamiento. Managua, Nicaragua, 1991.
- Mejía, M. 1991. Actividad fotosintética en la Laguna de Tiscapa. Contribución al 1er Congreso Científico de la UNAN-Managua.
- Mejía, M. y N. Chow 1992. El fitoplancton y la producción fotosintética del Embalse Las Canoas. Contribución al 3rd Congreso de la UNAN-Managua.
- Melack, J. M. 1976. Primary Productivity and Fish Yields in Tropical Lakes. *Trans. Am. Fish Soc.*, 105:575-580.
- Melack, J. M. 1981. Photosynthetic activity of phytoplankton in tropical african soda lakes. *Hydrobiol.* 81:71-85.
- Nush, E. A., and G. Palme 1975. Biologische Methoden für die Praxis der Gewässeruntersuchung Bestimmung des chlorophyll-a und wasser/ Abwasser 116:562-565.
- Odum, E. P. 1971. *Fundamentals of Ecology*. Saunders, Philadelphia, Pa. 3rd ed, 574 pp.
- Reynolds, C.S. 1984. *The ecology of freshwater phytoplankton* -(Cambridge studies in ecology). Cambridge University Press.
- Riedel, D. R. 1965. Some remarks on the fecundity of *Tilapia* (*T. mossambica* Peters) and its introduction into Middle America (Nicaragua together with a first contribution towards the limnology of Nicaragua. *Hydrobiologia* 25:357-388.
- Roberts, R. D. 1979. Underwater light penetration, chlorophyll-a and primary production in a tropical African lake (Lake Mchlwaine, Rhodesia). *Arch. Fur hydrobiologie* 86:432-444.
- Saavedra, R. 1993. Producción primaria en la Laguna de Masaya. Tesis de Grado. Universidad Centroamericana (U.C.A.).
- Swain, F.M. 1966. Bottom sediments of Lake Nicaragua and Lake Managua, Western Nicaragua. *J. Sed. Petrol.* 36:522-540.
- Talling, J.F. (1960). Comparative laboratory and field studies of photosynthesis by a marine planktonic diatom. *Limnol. Oceanogr.* 5:62-77.
- Talling, J. F. 1965. The photosynthetic activity of phytoplankton in East African lakes. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* 50:1-32.
- Talling, J. F., R. R. Wood, M. V. Prosser, and R. M. Baxter 1973. The upper limit of photosynthetic productivity by phytoplankton. Evidence from Ethiopian soda lakes. *Freshwater Biol.* 31:53-76.
- Tundisi, J.G. 1983. A review of basic ecological processes interacting with production and standing stock of phytoplankton in lakes and reservoirs in Brazil. *Hydrobiologia*, 100:223-244.